

# 비정질 규소(a-Si)의 응용과 전망

李 鍾 德  
(서울대 工大 教授)

## ■ 차 례 ■

- |            |            |
|------------|------------|
| 1. 서 론     | 3. 응용 및 전망 |
| 2. 배 경     | 3.1 수광소자   |
| 2.1 물리적 고찰 | 3.2 능동소자   |
| 2.2 제조기술   | 4. 결 론     |
| 2.3 특성열화   | 참고문헌       |

### 1 서 론

근래에 와서 a-Si소자에 대한 관심이 점차 높아지고 있다. 이는 소형 전자 제품의 전원에서 대전력용 솔라판넬을 비롯하여 소형TV의 판넬, 전자복사기, 전송사진, TV카메라의 영상소자, 박막트랜지스터(TFT)나 다이오우드(diode)를 이용한 각종 센서가 우리 생활에 이용될 수 있었기 때문이다. 이렇게 비정질 a-Si이 제품에 들어가던가, 앞으로 소자로서의 이용 가능성이 높아지게 된 것은 무엇보다 단결정에 비하여 어렵던 물리적 연구에 진척이 있었고 안정된 재료를 얻을 수 있었기 때문이다.

a-Si에 관한 연구는 1955년 소련의 Loffe Physico-Technical Institute의 Loffe와 Regel<sup>2)</sup>에 의해 비정질 물질의 구조가 단거리 질서를 가진다는 결과가 나오면서 활발히 진행되었고, 1969년 시카고 대학의 Cohen과 Fritzsche 그리고 ECD회사의 Ovshinsky<sup>3)</sup>가 단결정이 가지는 에너지 밴드구조에서 밴드 갭(band gap)내에 국부 준위(local states)가 존재하기 때문에 전기전도가 밴드원리에 의한 것 보다는 hopping mechanism에 의하여 설명이 되며 따라서 캐리어의 이동도가 단결정 실리콘

에서의 캐리어 이동도의  $10^{-3} \sim 10^{-4}$  정도로 낮은 것이라고 발표하였다. 1975년 영국의 Dundee 대학의 Spear<sup>4)</sup>교수등이 a-Si과 수소의 합금을 만들어 실리콘의 dangling bond를 수소와 결합시켜 국부준위를 줄인 것이 계기가 되어 비교적 안정된 a-Si의 소자를 만드는 노력이 시작되었고 현금에는 응용범위가 차차 넓어지고 새로운 소자와 재료가 개발될 전망이다.

a-Si 소자를 만들어 쓰는데에는 아직도 문제점이 많으며, 열화(degradation)방지는 그중 가장 중요한 것이라 할 수 있다. 현재까지 소자를 제조하는데 필요한 양질의 a-Si 박막은 주로 plasma CVD(PECVD) 방법에 의하여 얻어지고 있으며, 광CVD나 microwave CVD등의 연구가 기대된다. 응용은 두 가지로 분류하여 수광소자로서의 태양전지, 영상소자, 광센서등이 있고 능동소자로서는 diode TFT, CCD, memory, LED, ELD 및 distortion sensor 등을 들 수 있다. 이 밖에도 a-Si에 Ge와 B를 넣어서 전도도가 급속히 가까우며 기계적으로 강한 새로운 소재가 개발될 전망이다.

### 2 배 경

2.1 물리적 고찰  
물질을 구분하여 고체, 액체, 기체로 그리고 고체

내용 중 많은 부분을 참고문헌(1)에서 인용하였음.

를 결정과 비결정으로 편의상 나누어 보면 비결정을 제외하면 이들 모두가 열역학적으로 평형상태에 있어 가장 안정된 상태로 존재하게 된다. 원자배치의 관점에서 보면 기체는 장, 단거리 질서가 존재하지 않으며, 액체는 단거리 질서가 결정은 장, 단거리 질서가 존재한다. 그러나 비결정은 열역학적으로 평형상태에 있지 않으며 액체와 같이 단거리 질서만 있다. 그러나 비결정도 나름대로의 안정한 물질을 구성하고 있다.

원자를 배치하여 물질을 구성할 때 자유에너지 개념을 쓴다면 결정이 되었을 때 그 시스템이 가장 낮은 에너지를 가지게 되고 열적평형에 있게 되겠지만 그보다 높은 에너지를 가지더라도 열적으로 안정될 수 있는 비평형조건이 있을 수 있으며 더구나 이 에너지근처에서 광구조 변화를 일으키는 경우 더욱 흥미있는 물질로 될 수 있다. (그림 1 참조)

a-Si의 밴드구조는 단거리 질서로 부터 시작하여 화학결합에 의하여 설명할 수 있는데 그림 2는 밴드 형성의 개념을 보여 준다. 비정형의 밴드 갭에 존재하는 국부준위 때문에 전자가 전도대에 들어갈 확률이 적어지므로 이동도가  $0.1 \sim 1 \text{ cm}^2(\text{vs})^{-1}$  정도로 낮다. 따라서 국부준위밀도를 줄이는 작업이 진행되어 왔으며 1975년  $10^{19}/\text{cm}^3$ 에서 1982년에는  $10^{16}/$

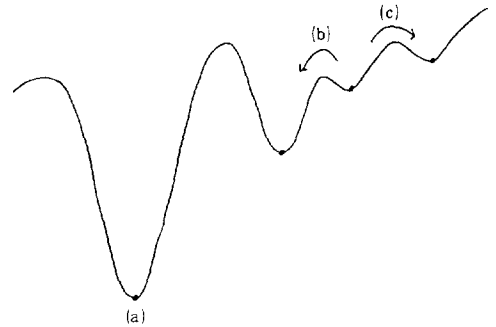


그림 1. 자유에너지와 물질의 구성  
(a)는 결정체가 갖는 최대에너지이며  
(b)는 열적으로 안정화되는 과정  
(c)는 광구조 변화를 의미한다.

$\text{cm}^3$ 로 낮아졌다. 방법은 H나 F와 같은 원소를 Si과 본드를 맺어줌으로써 dangling bond를 줄이는 것이다. Si 밀도가  $10^{22}/\text{cm}^3$ 이며 dangling bond는  $10^{20}/\text{cm}^3$ 이어서 10~20%의 수소가 Si과 bond를 형성하는 것이 가능하며, 완전한 dangling bond의 제거는 안되는 것으로 알려져 있다. 국부준위밀도가  $10^{16}/\text{cm}^3$  정도로 낮아지면 B와 P를 첨가하여 acceptor level과 donor level을 만들 수 있어 a-Si의 p형(p-a-Si), n형(n-a-Si) 및 in-

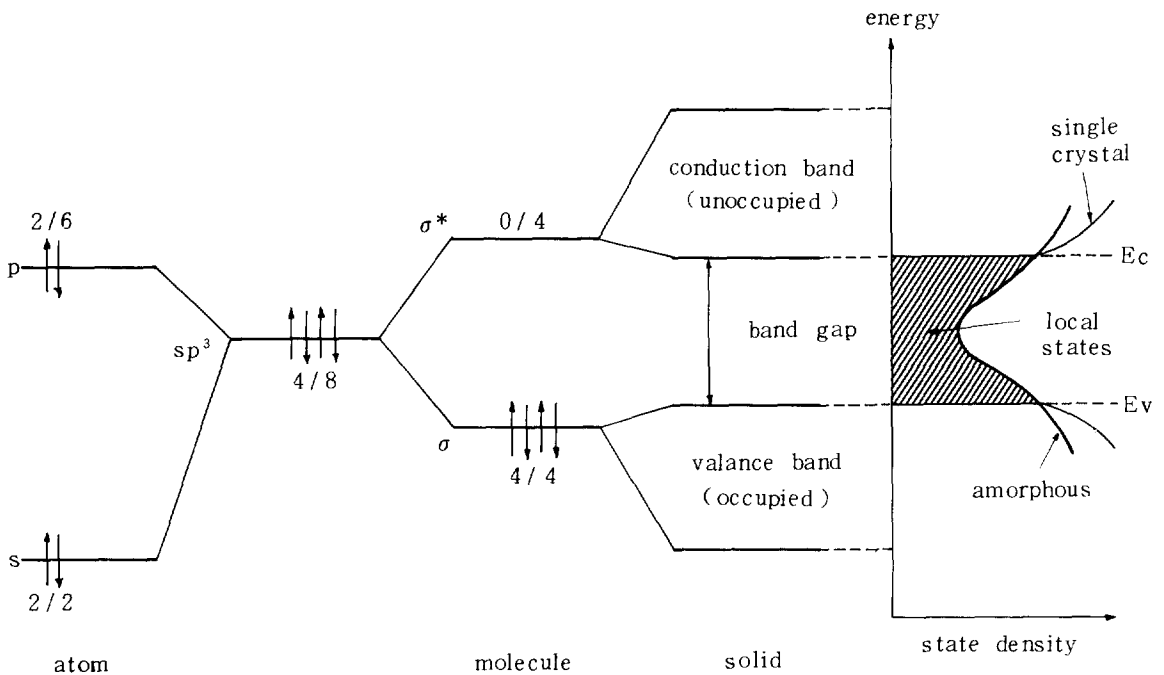


그림 2. a-Si의 화학결합과 밴드형성

intrinsic (i-a-Si)반도체의 형태를 가지게 된다.

2.2 제조기술

a-Si은 단결정 Si에 비하여 제조가 쉬운 반면 목적에 적합한 질과 성질을 가지는 재료를 반복해서 만들기는 쉽지않다. a-Si을 형성하는 방법은 550~650°C에서의 thermal CVD, 200~300°C에서의 PECVD 또는 RF스퍼터 방법등이 쓰여지고 있으며 현재까지는 glow discharge에 의한 PECVD가 가장 적합한 방법으로 알려져 있다. 근래에 와서 H<sub>2</sub>에서 나오는 UV를 이용하는 광CVD에 의해서 양질의 a-Si이 만들어 진다는 보고도 있다.<sup>5)</sup> a-Si은 주로 박막형태로 사용되며 광도전률, 암도전률, 전자의 농도등이 소자에 중요한 파라미터이며 이것들은 제작조건에 민감하다. 표1에는PECVD a-Si의 물리적 성질이 실려 있는데 이 값들은 제조조건에 따라 달라질 수 있다. a-Si 박막은 SiH<sub>4</sub>은 가스로, 기판의 온도는 250~300°C에서 재현성이 있는 박막을 만든 것이다.

1971년에 영국의 Dundee 대학의 Speer 교수팀이 치환형 불순물을 도핑하여 p/n 접합을 만든 것이 현재의 소자제조의 첫걸음이 되었다. PECVD 이외의 방법으로 thermal CVD, sputtering 및 증착법등이 있다. SiH<sub>4</sub>를 550~650°C에서 열분해하는 CVD법으로 만든 박막은 수소가 포함되지 않으며 수소분위기에서 아닐링을 하면 특성이 크게 개선된다. 그러나 고온에 견디는 기판이 필요하며 더욱 연구되

표 1. a-Si의 성질

암도전률	$3 \times 10^{-9} / \Omega \cdot \text{cm}$
활성화에너지	0.76 eV
광도전률 (AM 1)	$1 \times 10^{-3} / \Omega \cdot \text{cm}$
광학 밴드 갭	1.7~1.8 eV
광학 밴드의 온도특성	$2.7 \times 10^{-4} \text{ eV/K}$
전자 이동도	$0.5 \sim 1 \text{ cm}^2 / \text{V} \cdot \text{S}$
정공 이동도	$(1 \sim 5) \times 10^{-3} \text{ cm}^2 / \text{V} \cdot \text{S}$
캐리어 확산길이	> 1.0 $\mu\text{m}$
전자친화력	3.93 eV
굴절률	3.43
밀도	$2.2 \mu / \text{cm}^3$
Si dangling bond 농도	$< 1 \times 10^{16} / \text{cm}^3$
결합수소량	18 atomic %
결정화온도	675 °C

야겠다. Ar 플라즈마를 이용하는 sputtering 법으로 a-Si을 만들면 비교적 양질의 박막이 되나 Ar이 5 atomic %가 들어가 특성의 변화를 가져오게 된다. 진공증착법은 산소의 오염을 피하기 어려운 단점이 있다. PECVD나 sputtering 법을 적용하면 플라즈마에 의한 표면손상이 예상되는데 이것을 피하기 위하여 H<sub>2</sub>에서 발생하는 자외선을 이용한 광CVD를 이용하는 법과 이온분자선, 레이저 또는 마이크로파 CVD법이 연구중이다.<sup>6)</sup>

PECVD장치(그림 3)의 동작조건은 압력이 0.1~10 Torr, 가스유량은 10~200cc/min, 전력밀

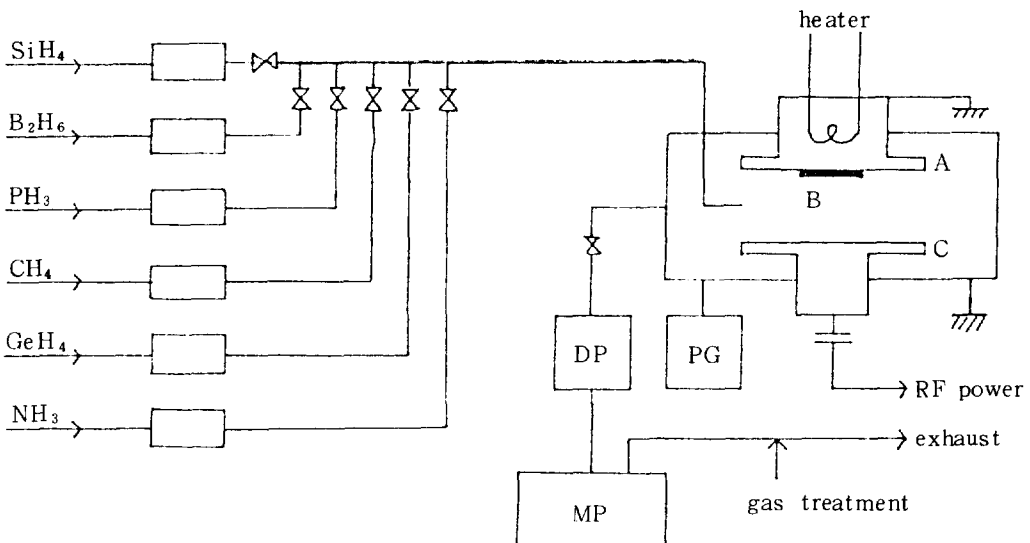


그림 3. PECVD system. A, C, B, PG, DP, MP는 각각 양극, 음극, 기판, pirani 진공계, 확산펌프 및 로타리 펌프이다.

도는  $10^{-2} \sim 10^{-1} \text{ W/cm}^2$ 이며  $\text{SiH}_4$ 은 10~100 %를 쓰는데 수소에 희석된 것이다. 양질의 박막 일수록 Si:H 결합이 대부분이며  $\text{SiH}_2$ ,  $\text{SiH}_3$  등의 고차결합이 많아지면 부적합하게 된다. 이러한 본드는 IR스펙트럼으로 분석이 되며  $630\text{cm}^{-1}$ ,  $850\text{cm}^{-1}$ , 및  $2000 \sim 2140\text{cm}^{-1}$ 에서 가장 큰 피크가 관찰된다. 재현성이 있는 박막을 만들려면 1) 원료가스나 기구에서 들어오는 오염을 방지하고, 2) 반응실의 P나 B이 i층에 auto-doping 되지 않아야 하며 방전 전력과 가스유량을 최적화 하여야 한다. 따라서 i-형, p-형, n-형, a-Si을 얻는 반응실을 각각 두는 3실 분리법이 양질의 박막을 얻는데 고려하여야 할 주요한 요건이 된다. 동일 반응실에서 만든 pin 태양전지의 효율은 3실을 분리하여 만든 것의 효율의 80%밖에 못미친다

n-형과 p-형 a-Si:H를 얻는 조건에 각각  $\text{PH}_3$ 나  $\text{B}_2\text{H}_6$ 를 수백 ppm 정도의 수소에 희석하여 도핑하게 된다. dangling bond 농도가  $10^{16}/\text{cm}^3$  정도이기 때문에 도핑농도는  $10^{18}/\text{cm}^3$  보다 크게 하여야 donor 준위와 acceptor 준위를 얻게 된다. 감광체로서 이용하려면 암저항이 높아야 하며 광도전지의 저항과 비교하여  $10^4$  정도 이상의 차이가 필요한데 이를 위하여 a-Si에 보론을 50체적 ppm 정도 첨가하기도 한다. F과 N를 H에 대신하여 Si과 결합시키기도 하는데 이는 내열성을 높이기 위해서이다.  $\text{SiH}_4$ 에 20% 정도의  $\text{CH}_4$  가스를 섞어서 a- $\text{Si}_x\text{C}_{1-x}$ 를 만들 수 있으며 여기에 보론을 도핑하면 저항이 줄고, 높은 광도전율을 얻는다. a-SiC:H는 밴드 갭이 1.85 eV로서 p\*in태양전지의 p로 쓰면 a-Si:H를 p로 쓴 것보다 빛의 투과가 커져 효율이 30~40% 개선된다 (그림 4 참조). Ge를 a-Si에

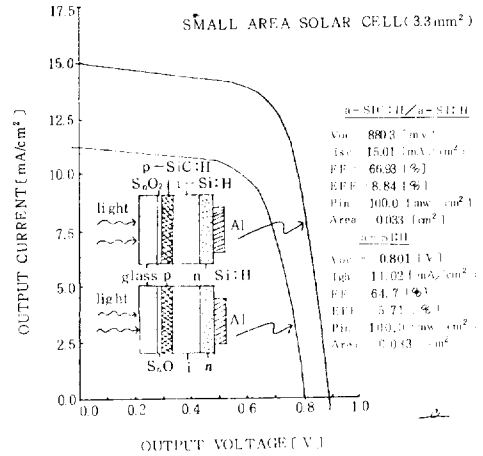


그림 4. pin 전지에서 P 층을 A-Si:H 와 a-SiC:H로 제조하였을 때의 특성 비교.

도핑하여 만든  $\text{Si}_x\text{Ge}_{1-x}$ 는 x가 작아질수록 밴드 갭이 줄어 장파장을 흡수하게 되므로 다층 태양전지에 쓰이게 된다. 20% 정도의  $\text{NH}_3$ 을 첨가하여 a-Si을 만들면 광학밴드 갭이 1.85eV 정도 되어 높은 광도전율을 나타내며 여기에 1000체적 ppm의 보론을 첨가하면  $10^{-14}/\Omega \cdot \text{cm}$ 의 암도전률과  $10^{-8}/\Omega \cdot \text{cm}$ 의 광도전율을 얻어 사진감광체 재료에 적합하게 된다. 표 2에는 태양전지, TFT 및 감광체에 적합한 a-Si 박막의 특성이 요약되어 있다.

2.3 특성열화

a-Si 소자중에서 신뢰성이 문제가 되는 것은 태양전지와 TFT에서이다. 현재 알려진 바에 의하면 태양전지의 i층에 보론을 도핑하여 열화를 적게 할 수가 있다. TFT에서는 바이아스를 계속 걸고 있

표 2. 여러가지 소자에 적합한 a-Si 박막의 특성

소자 및 특성 파라미터		태양전지	TFT	전자사진 감광체
특 성	중요소자파라미터	단락 전류 (I <sub>sc</sub> )	ON/OFF비	전하보지 특성
	단 위	개방 전압 (V <sub>oc</sub> )	임계 전압	광 감 도
		충 실 도 (FF)		
암도전율	$\Omega^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$	$\sim 10^{-10}$	$\leq 10^{-8}$	$\leq 10^{-12}$
활성화 에너지	eV	$\sim 0.8$	$\geq 0.7$	$< 0.85$
광도전율	$\Omega^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$	$\geq 5 \times 10^{-4}$	—	$> 10^{-7}$
밴드갭	eV	1.75~1.90	—	1.7~1.9
이동도	$\text{cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{S}^{-1}$	—	$\geq 0.5$	—
캐리어 확산 길이	um	$> 1.0$	—	—
극부 준위 밀도	$\text{cm}^{-3}$	$< 10^{16}$	$< 10^{16}$	—

으면 드레인 전류가 감소하는데 이러한 열화는 해명이 되지 않고 있으며 해결해야 할 중요한 문제이다.

a-Si은 먼저 언급한 바와 같이 열역학적으로 안정이 되어 있지 않으며 준안정상태에 있으므로 만들기는 쉬운 편이나 만들 때의 조건에 따라 물리적 성질의 차이가 크고 신뢰성이 좋지 않다. 소자별로 보면 소형전자기에 쓰이는 태양전지는 열화를 고려하여 충분한 용량을 처음에 계상하기 때문에 별문제가 없으나 대전력용은 강한 광이 조사되면 시간에 따라 단락전류가 감소하여 변환효율이 떨어진다. 열화억제를 위하여는 입사광에서부터 pin구조로 만들고 i층에 B를 도핑하며 i층을 되도록 얇게 하고 다층구조로 만드는 것이 바람직하다. TFT는 직류전압을 인가하면 시간이 지날수록 전류가 서서히 감소하고 임계전압도 증가하게 된다. 전자복사기에 쓰는 감광체는 열화가 되지만 종래의 CdS나 Se 등에 비하여 우수하기 때문에 문제가 되지 않는다.

a-Si의 광통되는 열화현상은 A-Si:H에서 H가 떨어져 나오는 현상과 불순물이 확산되어 처음의 분포와 다르게 되는 현상 때문인데 H가 분리되어 나오는 것은 100°C 이하에서는 10<sup>4</sup>년까지는 문제가 되지 않으며 불순물 확산에 의한 것은 400°C에서 B와 P의 확산계수가 약  $3 \times 10^{-17} \text{ cm}^2/\text{s}$ 로 400°C 이하에서는 역시 문제가 없다. 100°C 이상에서 동작하기 위하여는 a-Si:H에서 H를 F로 대체하면 Si-F의 결합 에너지(116Kcal/mole)가 Si-H 결합에너지(71.4Kcal/mole)보다 높으므로 크게 도움이 된다. TFT의 열화는 절연층과 a-Si의 경계면에서 일어나는 것으로 추정하지만 분명하지 않으며 해결방법도 연구되어야 한다. 동작온도가 높을수록 드레인 전류의 drift가 심하게 되며 잘 되어진 것은 드레인 전류가 반이 되기까지 6.700시간이 걸린다. 마치 MOS transistor가 Bipolar transistor보다 먼저 나오긴 하였으나 1960년 후반에 와서야 실용화 된 것과 같이 a-Si 열화의 mechanism을 알아내면 전력용 태양전지는 물론 TFT가 LSI에 실용화 될 것이다. 이 문제는 여러 사람에 의하여 많은 노력과 기울여지면 해결될 수 있다고 생각된다.

### ③ 응용 및 전망

a-Si을 이용하여 소자를 만들어 응용하는 분야는 크게 나누어 수광소자와 능동소자로 구분되며 단위소자로는 diode와 TFT가 기본이 된다. 일본은 특히 응용에 관한일을 많이 해왔는데 1975년 학교에서

시작하여 연구소, 업체와 공동연구를 해 왔으며 대학이나 공공연구기관의 연구점유율은 줄고 상대적으로 기업이나 기업과의 공동연구가 많아지고 있다. 대개 40여개의 업체가 태양전지, 전자사전용감광체, 광센서, 밀착형 영상소자, 촬영소자, TFT, diode 등의 연구나 제품을 생산하고 있다.

#### 3.1 수광소자

태양전지는 유리/투명전극/p/i/n/금속전극의 구조를 갖고 소면적에서 현재 10%의 효율을 얻고 있으며 다른 에너지 갭을 가지는 다층구조를 만들어 20%까지 올리는 것이 가능하다.

100cm<sup>2</sup> 이상의 대면적 태양전지는 효율이 5%정도가 얻어지고 있으며, Fuji와 Sanyo 회사에서는 2.5KW의 대전력을 내는 태양전지를 만들어 일본 동경공업대학 옥상에 1982년에 설치하여 신뢰도를 시험하고 있는것이 하나의 예가 되겠다. pin의 두께는 5000~6000Å이며 p와 n은 500Å 이하로하고 6% 이상의 효율을 얻으려면 p층을 SiC로 사용하거나 다층구조로 제작한다. RCA는 1.09cm<sup>2</sup>에서 10.1%의 효율을 얻었는데, 단락전류 I<sub>sc</sub> = 17.8mA/cm<sup>2</sup>, 개방전압 V<sub>oc</sub> = 0.84V 충실도 FF = 67.6%, 확산길이 L<sub>p</sub> = 1.6um에 Ag전극과 p-SiC를 이용하였다. 일본의 Sanyo에서는 10 × 10cm<sup>2</sup> 면적에 7.36%, 20 × 20cm<sup>2</sup>에 6.14%의 효율을 p-SiC를 이용하여 얻었다. 삼층구조는 SiN:H, Si:H, Si:G:H가 각각 밴드 같이 2.0eV, 1.7eV와 1.4eV인것을 이용하여 반응파장을 0.3--0.9um폭으로 넓혀 이론적으로 24%의 효율을 얻는 것이 가능하다고 본다.

일본에서의 태양전지는 1980년에 시작하여 진행되고 있는 Sunshine project에 의해서 장족의 발전을 하였는데 1983년까지는 ¥21억 7000만을 투자하여 8--10%의 고효율을 얻는 목적을 달성하였으나 수정안으로 1983--1985년 사이에 실용화 및 고성능화를 추구하고 고효율화(12%), 대면적화(30--40cm), 고속박막형성(15--20Å/sec), 신뢰성(15년 이상), 기관의 개발등에 주안점을 두고 있으며 가격 목표는 panel 상태로 ¥100/W을 목표로하고 있으며 이 가격은 현재 석유를 써서 발전하는 비용과 같다. 일본의 생산 실적은 1980년 ¥300억에서 1982년 ¥2,200억으로 증가하고 있으며 이중 75% 이상이 라디오, 카메라, TV, 녹음기, 시계, 계산기 등의 민생용 기기에 들어간다.

생산가면에서 보면 a-Si은 1um보다 얇은 두께

를 가지는데 비하여 단결정 Si 은 300 um 의 두께를 가지게 되며 효율면에서 전자가 7%, 후자가 14% 정도이며 a-Si 의 박막형성시 SiH<sub>4</sub> 의 90% 는 버리게 되는 것을 고려하더라도 원료에 있어서의 가격은 전자가 후자의 2.5% 정도이다. SiH<sub>4</sub> 를 사용하는 경우 박막성장속도는 2~3 Å/sec 이며 가스 가격은 ¥ 150/g 이며 Si<sub>2</sub>H<sub>6</sub> 인 ¥ 30,000~¥ 40,000/g 로 생산가를 떨어뜨리기 위하여 재료 개발을 하고 있다. 기관의 재료는 스테인레스스틸이나 유리를 쓰지만 내열성이 강한 합성수지를 개발하는 것도 중요연구 과제중의 하나이다.

수광소자중 태양전지를 제외하면 전자사진용감광체, 광센서나 일차원 이미지 센서 및 촬영소자가 있다. 전자사진용으로는 1983년에 시판이 되었는데 무공해, 고경도, 고감도, 고속의 장점을 이용하여 종래의 Se 계나 CdS 계 감광체를 대체하고 있다. 광센서는 전자복사용소자로 이용되며, 이 소자의 밀도는 8 소자/mm 로 1728 소자를 써서 A4 용지의 크기에 이용되도록 만들어진 시제품이 1982년 말부터 나오고 있다. 광센서는 펄시밀과 고체 촬영소자 (solid state image device) 등에도 이용될 수 있다. 펄시밀용 일차 이미지 센서는 NEC 에서 제작하여 1984년 2월 MRS 심포지움에서 발표된 바 있으며 시제품을 공개하였다.

전자사진용감광체는 전자복사기에 주로 이용되며 일본에서만도 ¥ 500억 이상의 시장이 예상되고 있다. 현재 쓰고 있는 감광재료로는 CdS 계, ZnO 계, Se : (Te, As, Sb) 계가 쓰이나 수명이 수백장에서 수만장 정도를 복사할 수 있을 정도인 반면 a-Si 의 경우 100만장까지도 가능하다. 또 가시광선 영역에서 고감도이며 속도도 비교되지 않을 정도로 빠르고 200°C 이상에서도 분해가 없다. 광원으로는 He-Cd 레이저 (441.6 nm), He-Ne 레이저 (632.8 nm) 또는 GaAlAs 레이저 (740 nm) 어느것도 사용할 수 있으며 광범위한 파장 영역에서 동작이 가능하다. 그러나 현재 쓰여지고 있는 감광재료는 반도체 레이저 파장 영역에는 감광도가 낮다. 복사의 공정은 5~6 kV DC 에서 glow 방진으로 감광체 전면에 정전하를 대전시키고, 레이저 광을 이용하여 상을 노광하며, 밝은 부분에는 전자-정공이 발생하여 표면의 진하와 재결합하여 대전이 소멸된다. 감광체에 대전된 것과는 반대 전하를 갖는 도나를 바르면 광이 노출된 부분은 도나가 붙지 않게 된다. 이 과정이 현상이며, 현상을 거치면 정전상이 화상으로 바뀌어질 것이고, 이 화상을 종이위에 옮겨 놓게 되며,

이 도나상을 가열, 정착시키고 마지막으로 감광체에 남은 잔상을 제거한다. 이러한 목적에 적합하려면 암저항이 높아야 하며, 대전능력이 있어야하고, 잔상 제거가 용이해야 한다. a-Si:H 에 보통과 소량의 O 와 N 을 첨가하여 밴드 갭을 1.9~2.0 eV 로 하면 암저항이 10<sup>13</sup> Ω·cm 로 높아지며 10~12 um 두께로 하면 500 V 정도의 대전능을 가지게 되며 20초 정도의 표면전하를 보지하게 된다. 첨가물을 너무 많이 넣으면 비저항은 커지지만 결함이 많이 생겨 이동도가 떨어지므로 잔상제거가 어렵게 된다. 감광체의 표면에 수 kV 의 코로나 방전을 시키면, 표면이 손상되고 O 와 N ion 이 붙어 HNO<sub>3</sub> 가 되어 수분을 흡수하여 표면저항이 감소하고, 표면전하가 수평이동하며 화상이 흐르는 원인이 된다. 이러한 열화방지로 a-Si<sub>1-x</sub>C<sub>x</sub>:H 가 효과가 크다. 반도체 laser 를 사용하기 위하여 장파장 (780~800 nm) 감도를 올리는 것이 과제인데 a-Si 에 Ge 를 첨가하면 효과적이긴 하나 암전류가 증가하게 된다. 광원을 반도체 laser 로 쓰는 경우 Alumite, 진극, p-Si<sub>1-x</sub>N<sub>x</sub> blocking 층, Si<sub>1-x</sub>C<sub>x</sub>:H 의 진하수송층, Si<sub>1-x</sub>Ge<sub>x</sub>:H 의 진하발생층으로 만드는 것이 좋은 것으로 알려져 있다.

광소자는 주로 대면적에 많은 소자를 넣어 사진기의 자동노광, TV의 자동 색도 조절, 생산 라인에서의 물체 검출등에 쓰며 칼라필터를 붙여 칼라 센서로도 쓴다. 일차원 영상 센서를 펄시밀이나 이미지 파일의 입력단 및 광회전 encoder 로 사용하여 로봇 팔의 회전모터의 회전을 제어하기도 한다. 현재까지는 단결정 PbS, CdS, CdSe 를 단색광 센서로, 실리콘으로 CCD 나 MOS image device 로 쓰든가 CdS-CdSe 계의 image sensor 로 써 왔으나, a-Si 을 쓰는 경우 인간의 시각도에 가까운 분광감도를 가지며, 대형으로 긴 광센서의 제작이 가능하며, 200°C 정도에서 견디고 고감도, 고속이며 값싸게 제조할 수 있다. 각종 광센서는 그림 5에서 보는데와 같이 유리나 자기관위에 빛을 받는 광도전층과 캐리어를 모으는 전극으로 구성되며 단락전류와 개방전압의 곱이 커야 하는 태양전지와는 다르게 단락전류가 크며 임사광에 직선적인 관계만 있으면 되겠다. Color 센서는 광센서의 전극을 3개로 분리하고 유리 기관쪽에 적, 녹, 청 필터를 부착하여 만든다. 전극간격은 20~30 um, 막의 두께는 0.5 um, 적, 청, 녹의 출력비는 5:3:2로 된다. 이때 단락전류는 0.6~10 uA 정도이며 암전류는 3~20×10<sup>-8</sup> uA 정도이다. 반응속도는 2 us 정도로 단결정과 큰 차이가 없다.

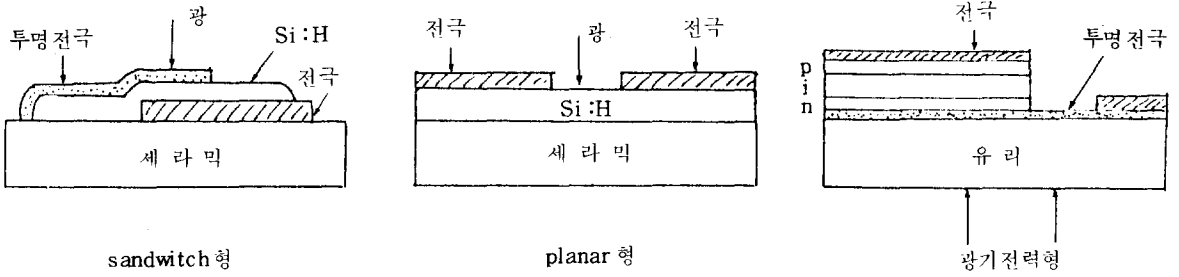


그림 5. 각종 광센서

광도전형 광센서는 외부에서 전압을 인가하고 광이 들어올때의 전류를 보아 광량을 측정하는 것으로 광센서, 일차원 영상센서, 밀착형 영상센서로 구분한다. 이중 패시밀등에 이용되는 밀착형 영상소자는 CdS~CdSe 계의 응답시간 10~20 ms/line까지 가능하다. 1984년도 NEC에서는, 빛이 들어오는 쪽에서부터, 유리, ITO (400 Å), Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> (300 Å), i-a-Si:H (2.5 μm), p-a-Si:H (2000 Å), Al의 순의 구조를 가지는 photo sensor (그림 6 참조)를 8소자/mm 밀도로 2560소자를 넣은 a-Si:H 밀착형 선형영상센서를 만들어 A 4 용지크기의 패시밀이나 복사 시스템에 붙인다고 발표하였다. 대면적 영상소자는 회로 구성도 중요한데 배선길이에 비례하는 저항과 캐패시터에 의해 응답속도가 떨어지는 문제를 고려해야 하고, 게이트 트랜지스터의 이동도가 낮아 스위칭 속도가 낮아지므로 트랜지스터 부분만 국부적으로 단결정화하는 방법도 연구가 필요하다.

촬영소자에의 응용도 a-Si이 감도가 좋고 해상도

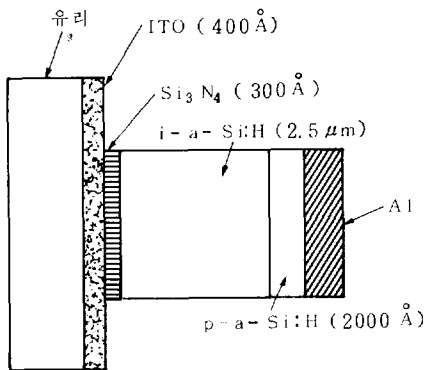


그림 6. NEC에서 만든 ISO A 4 Sensor 소자에 넣은 photodiode

가 높으며 내열성이 강하여 이용 가능성이 크지만, 3~4%의 잔상이 남고 청색감도가 약간떨어지며 생산기술이 개발되지 않고 있다. 그러나 고성능 촬영관이나 고체 촬영소자를 대치하는 것은 시간문제로 보고 있다. 촬영관의 구조는 빛이 들어오는 쪽에서 유리, SnO<sub>2</sub> 투명전극, SiO<sub>2</sub> (100~300 Å), a-Si (2~3 μm), Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub> (1000 Å)의 구조를 가지며 현재 Se-As-Te target의 잔상 1%보다 높은 3% 잔상이 문제이다. 잔상의 원인은 국부준위에 있던 캐리어가 지연되어 출력에 나타나기 때문인 것으로 생각되며 B와 H의 농도 조절로 이 문제의 해결을 모색하고 있다. 고체 촬영소자로서 종래의 CCD나 MOS소자는 수광부와 신호수송부가 동일평면에 있어 수광부에서 생긴 전하가 신호선에 들어오는 smearing이나 blooming을 억제하는 것이 최대의 과제인데 반하여 a-Si을 써서 이층구조로 만들면 수광부와 신호전송부를 완전 분리할수 있어 문제가 해결된다. 이층구조는 단결정 실리콘위에 MOS 신호전송부, 광차단판 및 a-Si 수광부를 만든다. 따라서 수광 면적을 크게 할 수 있어 고감도 소자를 얻을수 있다. sputter a-Si을 써서 2/3" 단판 color 고체 촬영소자를 Hitachi에서 만들었는데 화소수는 485×384이며 화소의 면적은 20.5 μm×11 μm/ 화소이며 이층 Al의 전극은 전체의 73%를 차지한다. 특성이 매우 좋지만 잔상이 3% 남는 것이 개선되어야 할 문제이다.

### 3.2 능동소자

다이오드나 TFT의 형태를 기본소자로 TV 평면 표시기 판넬, 열기전력계, 압력계, CCD, 기억소자, LED, ELD (Electroluminescence device) 등을 만들 수 있다.

TFT의 표시 판넬에의 응용은 분자나 그래픽에 쓰는 동화상으로 나눌 수 있으며 모두가 액정 표시 판넬

을 쓰고 driver로 TFT를 사용하며 전자총을 대신할 수 있어 평면 패널을 얻을 수 있다는데 잇점이 있다. 1982년 10월에 화소수가  $120 \times 160$ 이며  $4.5 \times 6.5 \text{ cm}^2$ 의 면적을 가지는 TV 패널이 나왔으며, 1983년 후반 부터 시판되고 있다. 이것의 신뢰도는 7000 시간이 지나면 드레인 전류가 반감되는 것으로 알려져 있다. 현재 그래픽이나 TV 화면에 쓰이는 것은 대개 화소수는  $240 \times 240$ , 해상도는 5개/mm, 핏치는  $0.2 \text{ mm} \times 0.25 \text{ mm}$ , 채널은 폭/길이  $140 \text{ um}/10 \text{ um}$ , 집적면적이  $4.4 \text{ cm} \times 6.0 \text{ cm}$  동작전압이 10 Volts 이며 목표는 화소수가  $500 \times 500$ 로 핏치가  $0.2 \text{ mm} \times 0.3 \text{ mm}$ , 채널 폭/길이  $20 \text{ um}/8 \text{ um}$ , 스위칭 시간은  $2 \text{ us}$ 가 되도록 하는 것이다. 칼라표시기에는 핏치가  $0.1 \text{ mm}$ , 채널 폭/길이  $20 \text{ um}/8 \text{ um}$ 로 하고 칼라 필터를 사용한다. 동화면을 위해서는 속도가 문제가 되겠는데 현재 8-bit shift register가 2-3 kHz 나 100 kHz까지 개선이 가능하다고 보고 있다. 온

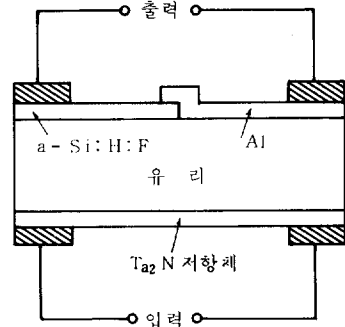


그림 8. 초단파 power sensor .

도 특성은  $30^\circ \text{C}$ 가 되면 드레인 전류가 1.5배 증가한다. 그림 7의 (a)와 (b)는 화소의 구조의 단면도와 평면도를 나타낸다.

a-Si는 distortion sensor (DS)나 열전기변환소자로 응용이 가능한데 DS는 게이지율이  $30 \sim 40$ 이다. 게이지율은 distortion (E)에 대한 저항변화율 (R/RO)의 비 (R/RO)/E로 정의된다. 이것은 1년 이내에 압력계 등의 계측기에 실용화될 전망이다. a-Si의 열기전력 발생능력을 이용하여 초단파와 적외선 (IR)의 power sensor를 만들 수 있다. 압력범위가  $0.1 \sim 10 \text{ mv}$  정도를 얻는데 기판의 두께를  $50 \sim 100 \text{ um}$ 로 하여 좋은 직선 특성을 보여 준다. (그림 8 참조)

다이오드는 정류비가  $10^{10}$ 이며 전류밀도가  $50 \text{ A/cm}^2$ 로 특성이 단결정에 비하여 떨어지지만 면적을 넓게하는 이점이 있다. 구조는 p-a-Si ( $200 \text{ \AA}$ )/i-a-Si ( $5400 \text{ \AA}$ )/n-a-Si ( $300 \text{ \AA}$ )이며 기판은 유리위에 Cr을 입혀서 쓰며 위의 전극은 Al을 사용한다. 다이오드 상수는 nip인 경우 1.2이며 pin인 경우 1.7정도이다.  $100 \text{ um} \times 70 \text{ um}$  크기 다이오드의 항복전압 ( $V_B$ )는 40 volts이며  $3 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}$ 는 20 volts이다. 속도가  $0.5 \sim 1 \text{ kHz}$ 이며 전송효율 99.6%인 CCD를 만들 수 있으며 패시밀용밀착 영상소자, 이차원 면적센서의 구동소자, 표시기의 shiftregister등에 응용할 수 있다. a-Si:H의 pin 발광 다이오드를 만들면  $8600 \text{ \AA}$ 의 파장이 나오며  $\text{Si}_{0.8} \text{C}_{0.8} \text{H}$ 를 이용하면  $5000 \text{ \AA}$  파장의 ELD를 만들 수 있다. memory제조도 가능하여 읽는 속도가  $10 \sim 200 \text{ ns}$ 가 되는 16K PROM을 영국 Dundee 대학에서 만든바 있다. <sup>7)</sup>

신소재로서의 a-Si이 주목을 끌고 있는데 a-Si에 Ge와 B를 도핑하여 a-Si:(Ge, B)를 만들면

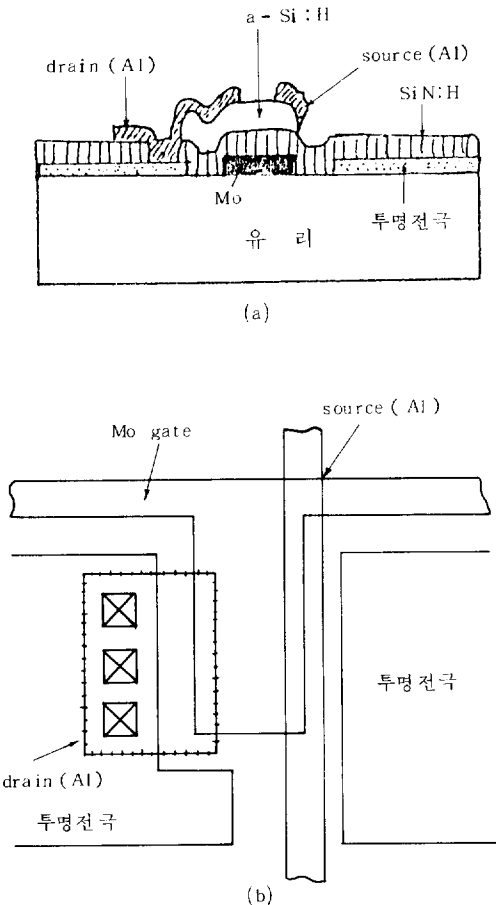


그림 7. 평면 표시기용 TFT의 단면도 (a)와 평면도 (b).



흑색 금속 광택이 나며 도전률이  $10^3 (\Omega \cdot \text{cm})^{-1}$ 로 금속에 가까운 물질이 된다. 이 물질은 광흡수 계수가 크며 광학 배드 갭이 없고 산과 알카리에 잘 견디며  $700^\circ\text{C}$ 에 30분 이상 가열하여도 a-Si의 성질을 유지한다. a-Si : (Ge, B) 는  $\text{SiH}_4$ ,  $\text{B}_2\text{H}_6$  가스를 혼합한 상태로  $500^\circ\text{C}$ , 0.2 Torr에서 thermal CVD 방법으로 만들어진다. 이때 수소가 들어가면 저항이 커지게 된다. 이것은 Si 과  $\text{SiO}_2$ 에 접착력이 좋으며 기계적 강도가 클 뿐만 아니라 산화가 잘되며 산화막은 매우 안정하기 때문에 LSI 공정에 응용할 수 있을 것으로 판단되며 하루빨리 연구가 뒤따라야 하겠다.

#### 4 결론

a-Si의 물리적성질, 제조방법, 열화의 예와 소자제조 및 응용을 살펴보았다. a-Si에 대한 이론적인 문제점이 점차 밝혀지면 캐리어의 이동도를 높여 소자의 특성을 개선할 수 있으며, 열화의 원인을 구명하고 열화방지를 하게 될 것이다. 현재 실용화 단계에 들어와 있는 소자, 태양전지, 전자사진감광체, 팩시밀리용 일차 이미지 센서, TV 표시기판넬 및 각종 센서 등을 포함하여 더욱 넓은 응용분야가 열릴 것으로 기대된다. 신소재의 a-Si : (Ge, B)의 IC 제조에의 이용뿐만 아니라 금속으로서의 타분야의 응용도 연구의 대상이 되고 있다. 이와 평행하여 각소자를 만드는 목적에 적합하도록 플라즈마를 이용한 장비의 개발과 원료 가스의 개발도 중요하다고 판단된다. 태양전지를 비롯한 a-Si 및 다결정 실리콘 양이 이미 다결정 실리콘의 양을 초과하였으며 앞으로 어떤 형태이든 순수한 Si을 얻는 원료의 개발은 하루빨리 착수되어야 하겠다. "일본이 연 5000억 원 이상의 a-Si 소자 시장을 겨냥하고 있다면 우리도 머지않아 소자제조, 장비 및 원료 문제를 해

결해야 할 숙제를 안고 있다"고 할 것이다.

#### 참고문헌

- 1) NIKKEI ELECTRONICS, "Amorphous Silicon 특집", pp. 105-179, Dec. 10, 1982.
- 2) A. F. Loffe, and A. R. Regel, "Non-crystalline, Amorphous, and Liquid Electronic Semiconductors," Progress in Semiconductor, vol. 4, pp. 237-291, Heywood & Company Ltd., London 1960.
- 3) M. H. Cohen, H. Fritzsche and S. R. Ovshinsky, "Sample Band Model for Amorphous Semiconducting Alloys," Phys. Rev. Lett., vol. 22, pp. 1065-1068, 1969.
- 4) W. E. Spear and P. G. Lecomber, "Substitutional Doping of Amorphous silicon," Solid State Commun., vol. 17, pp. 1193-1196, 1975.
- 5) M. Konagai and K. Takahashi, "Recent Progress in Amorphous Si," 2nd Int'l Workshop on the Physics of Semiconductor Devices, Delhi, India, Dec. 5-10, 1983.
- 6) 伊藤糾次, 鈴木稔, 目黒多加志, "소자제조 process의 저온화기술", 電子材料(日本) pp. 95-104, Sep. 1984.
- 7) A. E. Owen, P. G. Lecomber, G. Sarabayrose W. E. Spear. "New Amorphous-Silicon Electrically Programmable Nonvolatile Switching Device"; IEE Proc., vol. 129, part I, No. 2, pp. 51-54, Apr. 1982